

研 究 主 論 文 抄 録

論文題目 ナノ秒パルス放電プラズマによる省エネルギー型気相化学反応炉の形成
(Creation of the innovative high activity plasma chemical reactor by
nano seconds pulsed discharge plasma)

熊本大学大学院自然科学研究科 複合新領域科学専攻 衝撃エネルギー科学講座
(主任指導 浪平 隆男 准教授)

論文提出者 松本宇生
(by Takao Matsumoto)

主論文要旨

近年、地球環境問題への関心の高まりとともに、電氣的放電により形成される非熱平衡プラズマの化学特性を利用した環境浄化技術が急速に展開している。特に、種々の電氣的放電によって形成される非熱平衡プラズマは、その化学的活性度の高さから窒素酸化物(NO_x)や硫黄酸化物(SO_x)を含んだ燃焼排気ガスの浄化、揮発性有機化合物(VOCs)の処理といった産業排気ガスの浄化、そして次世代の酸化剤として利用が広まっているオゾン(O_3)の生成など、多岐に渡る応用が期待され、継続した研究がなされている。しかしながら、非熱平衡プラズマ形成に対するエネルギー利用効率の低さが障壁となり、未だ実用化の例は多くない。

私たちの研究室では、これまでに電極間注入エネルギーの非熱平衡プラズマ形成に対する高効率運用が期待できるパルス放電法について研究を進めている。近年のパルス放電プラズマに関する研究報告によれば、放電に使用するパルス電圧の時間幅を短くすることで、排気ガス処理やオゾン生成等のプラズマプロセスにおける処理効率が向上することが多くの研究者によって確認されている。このことから我々は、印加電圧の更なる短パルス化がエネルギー効率改善の鍵であると考え、ナノ秒幅の極短パルスを形成する「ナノパルス電源」を開発した。その成果として、金属電極間への高速な立ち上がり並びに立ち下り時間(現状は 2ns)及び数ナノ秒の持続時間(現状は 5ns)、50kV 超の過電圧を印加することで得られる放電が、非熱平衡プラズマの形成エネルギー効率において、現在の非熱平衡プラズマの主流な形成法である誘電体バリア放電法を大きく上回ることを実証し、その放電を「ナノ秒パルス放電」と命名した。

本論文では、次世代型の環境浄化技術として実用化近づきつつある非熱平衡プラズマへと焦点を当て、その詳細を説明するとともに、近年著者らの研究室で考案され、極めて高い大気圧ガス処理効率を実現したナノ秒パルス放電について紹介する。第 3 章のナノ秒パルス放電の非熱平衡プラズマとしての特性評価では、ナノ秒パルス放電によって NO 処理

及びオゾン生成実験を行うことで、ナノ秒パルス放電プラズマのラジカル（化学的活性種）生成能の評価が行われた。また、第4章のナノ秒パルス放電式オゾナイザにおける各種パラメータの影響では、現在ナノ秒パルス放電の応用プロセスとして、特に研究が進められているオゾン生成におけるリアクタ長、原料ガス流、原料ガス流量、原料酸素ガス濃度、リアクタ内のガス温度などがオゾン生成濃度及びオゾン収率に及ぼす影響が調査された。

本論文は全5章で構成されており、各章の内容を以下に示す。

第1章では、序論として、近年、次世代の環境浄化技術として期待されている非熱平衡プラズマについて、その特徴や歴史、非熱平衡プラズマの形成技術について述べた。

第2章では、我々の研究室で用いているナノ秒パルスパワーについて、計測技術、実際に実験に用いたナノ秒パルス電源及びナノ秒パルス放電について述べた。

第3章では、ナノ秒パルス放電プラズマの非熱平衡プラズマとしての特性評価と題して、各種大気圧ガス処理へ寄与する化学的活性種（ラジカル）の生成能調査について述べた。本調査では、窒素雰囲気でのNO除去実験を行うことで排気ガス中に含まれるNOの分解等に寄与するNラジカルの生成能を、また酸素原料でオゾン生成実験を行うことで、オゾンの生成等に寄与するOラジカル生成能を調査した。NO処理では、その処理ガス組成をN₂ Balance / NO 200 ppm（流量 10.0 L/min）にて実施し、その結果、ほぼ100%のNO除去率が達成された。さらに、NOの70%除去におけるそのNO除去エネルギー効率は0.81 mol/kWh (24.3 g-NO/kWh)であった。これは現在研究されている他の放電法と比べても極めて高い数値と言える。一方、オゾン生成では、原料ガスとして酸素ポンペを用い、その結果、オゾン生成濃度が10 g/m³に対しては、オゾン収率が約470 g/kWh、オゾン濃度30 g/m³のときには320 g/kWhという極めて高い値を得た。これら数値は現存するオゾン収率データの中で最高の値である。しかしながら、ナノ秒パルス放電によるオゾン生成では、オゾン濃度が40 g/m³付近で飽和する傾向が見られた。

第4章では、近年次世代の酸化剤として利用が広がっているオゾンの性質や応用分野、既存のオゾン発生機（オゾナイザ）について述べた後に、ナノ秒パルス放電式オゾナイザの開発を目指した基礎的研究について述べる。種々の実験・考察の上で、(1) 電圧極性の影響、(2) ガス流の影響及び(3) ガス流量の影響、(4) リアクタ長の影響、(5) 原料酸素ガス濃度の影響、(6) 原料ガス温度の影響について述べる。また、乾燥空気原料を用いてのオゾン生成結果についても述べる。

第5章は本研究の総括であり、巻末には参考文献および謝辞を記している。